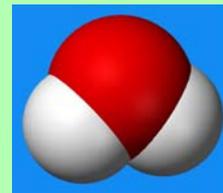




Bestimmung elektrische Leitfähigkeit + TDS-Wert mit dem Leitfähigkeitsmessgerät



**BrauLabor
11**
Physik/Chemie
**Leitfähigkeit
& TDS**

Aufwand: klein	Material: einfach bis mittel	Zeit: gering	Experimenttyp: Messungen	Anspruch: gering
--------------------------	--	------------------------	------------------------------------	----------------------------

Einführung

Eine ausführlichere Einführung in Theorie und Bedeutung der elektrischen Leitfähigkeit und der daraus abgeleiteten TDS-Werte sind auf der Webseite "Brauwasser" [hier](#) unter "2.11. Kenngröße 10: Die elektrische LEITFÄHIGKEIT des Wassers" zu finden.

Die Messung der elektrischen Leitfähigkeit (eLF) ist neben dem pH-Wert einer der wichtigsten Summenparameter zur Beurteilung von wässrigen Lösungen, insbesondere deren Abweichung von "normalen Verhältnissen", z.B. beim Auftreten von ungewohnten Fremdstoffen im Leitungswasser.

Leitfähigkeit.

Definition. Die elektrische Leitfähigkeit (eLF) einer wässrigen Lösung ist definiert als die Fähigkeit einer Lösung, einen elektrischen Strom zu transportieren. Sie beruht auf dem Vorhandensein von geladenen Teilchen (= Ionen). Die im Wasser gelösten Elektrolyte* wie Salze, Säuren, Basen u.a. dissoziieren in positiv geladene Kationen und negativ geladene Anionen. Beispiel: Kochsalz NaCl löst sich im Wasser auf und es liegen anschliessend von Wassermolekülen umgebene Na^+ - und Cl^- -Ionen vor (cf. TDS). Der gemessene Wert der eLF hängt u.a. von der Konzentration (= Teilchenmenge), der Ladungszahl (**Ionenladung**: z.B. Na^+ , Ca^{2+}) und stark von der Temperatur der Lösung ab.

Messprinzip und Masseinheit der eLF.

Messprinzip. Entsprechend dem ohmschen Gesetz..(I) ist die Spannung (V) in einer Lösung proportional zu dem fliessenden Strom (I):

$V = R \times I$, wobei R = Widerstand (Ohm, Ω), V = Spannung (Volt, V), I = Strom (Ampere, A). Der Widerstand (R) ist eine proportionale Konstante und kann anhand des gemessenen Stromflusses berechnet werden, wenn eine bekannte Spannung anliegt:
 $R = V/I$. Der Leitwert (G) ist definiert als der Kehrwert des elektrischen Widerstandes: $G = 1/R$, G = Leitwert (Siemens, S).

Um den Widerstand oder der Leitwert einer Probe zu messen, ist eine sogenannte Messzelle erforderlich. Die Messzelle besteht aus mindestens zwei Polen mit unterschiedlicher Ladung. Der Begriff „Elektrode“ wird als Synonym für Pol verwendet und zusammen bilden die Pole eine Messzelle. Die Zelle und der umgebende isolierende Körper werden als Sensor bezeichnet (cf. Abb. 1).

Masseinheit. Die eLF wird in Siemens pro Zentimeter gemessen, die gängigsten Messgrössen sind Millisiemens/cm [mS/cm] und Mikrosiemens/cm [$\mu\text{S}/\text{cm}$].



Abb. 1. Messzellen (Sensoren) der LF-Messgeräte.

Links: Voltcraft, Rechts: Extech (Messgeräte vgl. Materialienliste).

TDS: Total dissolved solids = Summe gelöster leitender Stoffe.

In wässrigen Lösungen verhält sich die Leitfähigkeit direkt proportional zur Konzentration gelöster elektrisch geladener Feststoffe (= Ionen von Salzen wie NaCl: $\text{NaCl} + n \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$; komplexere Ionen wie Sulfationen SO_4^{2-} , Nitrationen NO_3^- , Hydrogenkarbonationen HCO_3^- [$\text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{H}^+$ (bzw. H_3O^+) + HCO_3^-] und anderen geladenen Teilchen wie Eiweisse, Säuren u.v.a.).

Der TDS-Gehalt im Wasser (als [ppm] oder [mg/L]) wird durch die üblichen Leitfähigkeitsmessgeräte über den gemessenen

Leitfähigkeitsmesswert in $\mu\text{S}/\text{cm}$ umgerechnet nach der Formel **Anzeigewert TDS (in $[\text{mg}/\text{L}] = \text{Leitfähigkeit (in } [\mu\text{S}/\text{cm}] \times \text{C.tds (Umrechnungsfaktor))}$, wobei für den Faktor C.tds häufig ein gemittelter Standardwert von 0,67 eingesetzt wird (C.tds-Werte: 0.50 einwertige Salze mit 2 Ionenarten (NaCl, KCl u.ä.) und natürliche Wässer/ Oberflächenwässer, Trinkwasser; 0.65-070 Salzkonzentration von wässrigen Düngerlösungen).**



Leitfähigkeit und Wasserhärte.

Die eLF-Messung erlaubt es, mit einer sehr guten Annäherung auch Aussagen über die **Wasserhärte** zu treffen. Diese wird hauptsächlich durch die Präsenz von gelösten Calcium- und Magnesiumionen in einer Flüssigkeit bestimmt. Die am häufigsten verwendete Einheit für die Wasserhärte ist das französische Härtegrad (°f), das wie folgt definiert ist:

$1\text{ °f} = 10\text{ ppm } [\text{mg}/\text{L}] \text{ CaCO}_3$, $\text{CaCO}_3 = \text{Calciumkarbonat (Kalk)}$

Indem man das Messergebnis der Leitfähigkeitsmessung, ausgedrückt in ppm $[\text{mg}/\text{L}]$, durch 10 dividiert, erhält man die Wasserhärte mit einem maximalen Fehler von 2 - 3 °f. $2\text{ }\mu\text{S}/\text{cm}$ entsprechen daher grob 1 ppm $[\text{mg}/\text{L}]$. Daraus abgeleitet kann man die folgende Aussage treffen: **$1\text{ °f} = 20\text{ }\mu\text{S}/\text{cm}$ In deutschen Härtegraden (Umrechner °f \leftrightarrow °dH): $1\text{ °dH} = 30\text{ }\mu\text{S}/\text{cm}$.**

Die Leitfähigkeitsgrösse gemessen in $\mu\text{S}/\text{cm}$ dividiert durch 20 ergibt die Wasserhärte in französischen Grad mit einem maximalen Fehler von 2-3 °f.

Materialien

Glaswaren/Geräte/ andere Materialien	eLF: VOLT CRAFT LWT-03 Leitwert-Messstick (Messbereich bis 1999 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ATC - automatische Temperatur-Kompensation 0-50°C, Auflösung 1 $\mu\text{S}/\text{cm}$, Genauigkeit $\pm 2\%$; Info). TDS: Extech EC210 Leitfähigkeits-Messgerät, TDS Meter (Messbereiche Leitfähigkeit: 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 20mS/cm, 100mS/cm; TDS: 1'200 ppm, 12'000 ppm, 66'000 ppm, ATC - automatische Temperatur-Kompensation 0-50°C, Auflösung 1 $\mu\text{S}/\text{cm} - 00.1\text{ mS}/\text{cm} - 0.1\text{ mS}/\text{cm}$; 1 - 10 - 100 ppm; Genauigkeit $\pm 2\%$; Info). Bechergläser, Pasteurpipetten
Verbrauchsmaterial	Linsoft (Kosmetiktüchlein), Haushaltspapier
Chemikalien	destilliertes oder entionisiertes Wasser. Kalibrierlösung (Leitfähigkeit-Standardlösung), z.B. hier .
Biologische Objekte	Brauwasser, Maische in verschiedenen Phasen (z.B. Einmischen, Ende Verzuckerungsrasten, Läuterruhe, Ausschlagwürze/Speise), Anstellwürze, Gärlösungen im 1-Tages-Abstand, Jungbier, Endprodukt Bier

Durchführung der Leitfähigkeitsmessung

I. Messvariante: Leitfähigkeits-Messstick

I. **Kalibrierung des LF-Messsticks:** jeweils entsprechendes geräte-spezifisches Manual konsultieren!

- **wann kalibrieren:** eine Kalibrierung muss zwingend jedesmal vor einer neuen Messserie mit immer einer frischen Standard-Kalibrierungslösung durchgeführt werden
- **Spülung 1:** Schutzkappe entfernen, Gerät einschalten, die Leitwert-Elektrode (Sensor) und das Gefäß für die Standardlösung mit destilliertem oder entionisiertem Wasser mehrfach und gründlich spülen, um jede Art von Verunreinigungen zu entfernen; alle am Gefäß verbliebenen Wassertröpfchen abschütteln
- **Spülung 2:** Sensor und Gefäß mit kleiner Menge der Kalibrier-Standardlösung (1'413 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 25 °C) spülen, diese Lösung dann verwerfen
- **Füllung Standardlösung:** Gefäß mit frischer Standardlösung soweit füllen, dass die Messzelle inkl. Entlüftungsöffnungen des Sensors vollständig bedeckt werden können
- **Messung:** Sensor wie beschrieben in Standardlösung eintauchen, kurz rühren (\rightarrow Luftbläschen von Messelektrode



Abb. 2. Zwei Ausrüstungsniveaus zur Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit und des daraus erfassbaren TDS-Wertes.

Links: Das komfortable und genaue Extech EC210 Leitfähigkeits-Messgerät und TDS Meter mit separater Leitfähigkeitselektrode ([Info](#)). Messbereiche: 2'000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 20mS/cm, 100mS/cm; TDS: 1'200 ppm, 12'000 ppm, 66'000 ppm.

Mitte: VOLT CRAFT LWT-03 Leitwert-Messstick, ein einfaches Messgerät zur Leitfähigkeitsbestimmung ([Info](#)).

Enger Messbereich: 0-1'999 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Für die Brauwasserkontrolle ausreichend. Rechts: Erforderliche Chemikalien: Kalibrierungs-Standardlösung (1'413 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 25 °C) sowie dest./ent. Wasser.



entfernen) und warten, bis sich die Anzeige stabilisiert hat (kann bis 5 min dauern!)

- **Kalibrierung:** entsprechend der Bedienungsanleitung* verfahren, d.h. letztlich den Messwert auf $1'413 \mu\text{S}/\text{cm}$ bei 25°C justieren (bzw. bei abweichender Temperatur auf den entsprechenden Wert, z.B. $20^\circ\text{C} \rightarrow 1'278 \mu\text{S}/\text{cm}$, cf. Abb. 4,5).



Abb. 3. Kalibrierung eines eLF-Messsticks. Bedingungen: frische $1'413 \mu\text{S}/\text{cm}$ Standardlösung, 25°C ; Einstellung auf $1'413 \pm 1 \mu\text{S}/\text{cm}$.

°C	°F	$\mu\text{S}/\text{cm}$
0	32.0	776
5	41.0	896
10	50.0	1020
15	59.0	1147
16	60.8	1173
17	62.6	1199
18	64.4	1225
19	66.2	1251
20	68.0	1278
21	69.8	1305
22	71.6	1332
23	73.4	1359
24	75.2	1386
25	77.0	1413
26	78.8	1440
27	80.6	1467
28	82.4	1494
29	84.2	1521
30	86.0	1548
31	87.8	1575

Hanna Instruments, Inc.
Highland Industrial Park
584 Park East Drive
Woonsocket, RI 02895 USA
Phone: +1 401 7657500

Abb. 4. Die elektrische Leitfähigkeit ist sehr stark von der Temperatur abhängig. Bsp.: $25^\circ\text{C} - 1'413 \mu\text{S}/\text{cm}$, $24^\circ\text{C} - 1'386 \mu\text{S}/\text{cm} \rightarrow \Delta = 27 \mu\text{S}/\text{cm}$.



Abb. 5. Kalibrierung des LF-TDS-Gerätes bei 20°C auf den Eichwert $1'278 \mu\text{S}/\text{cm}$ (cf. Abb. 4); eine Temperaturabweichung von nur 0.3°C (19.7°C) ergibt bereits eine Abweichung von ca. $6 \mu\text{S}/\text{cm}$.

Beispiel

VOLT-CRAFT LWT-03 Leitwert-Messstick: Gerätekappe abschrauben, mit mitgeliefertem Spezialschraubenzieher die "SPAN"-Steuerungsschraube auf den temperatur-korrekten Wert einstellen. EXTRECH EC210 Leitfähigkeits-Messgerät/TDS Meter: Einschalten "ON/ESC", Sonde in Messlösung + Taste "Function/HOLD" drücken \rightarrow Symbol HOLD erscheint, "REC/ENTER"-Taste drücken \rightarrow oben erscheint "CAL" und unten "YES", sofort Taste "REC/ENTER" drücken \rightarrow Leitfähigkeitsmesswert, Masseinheit, blinkendes Symbol "CAL"; nun mit Pfeiltasten \blacktriangle / \blacktriangledown den zutreffenden Leitfähigkeitsmesswert einstellen, warten \rightarrow "END" erscheint.

- **Endspülung:** nach jeder Einzelmessung Sensorsonde mit dest./ention. Wasser gründlich abspülen, Leitfähigkeits-Standardlösung entsorgen.

2. **Messung der Leitfähigkeit:** nur mit kalibriertem Messgerät! Jeweils entsprechendes gerätespezifisches Manual konsultieren! Eine geringfügige Temperaturänderung hat normalerweise eine grosse Auswirkung auf den Leitfähigkeitsmesswert einer Standardlösung \rightarrow Tipp: Kalibrierung und Messung möglichst bei der gleichen Temperatur durchführen!

- **Spülung 1:** kalibrierte Sonde sowie das Probengefäß mehrfach und gründlich mit dest./ention. Wasser spülen, alle verbliebenen Tröpfchen abschütteln
- **Spülung 2:** Sensor und Probengefäß 2-3 x mit der Probelösung spülen, gebrauchte Probe entsorgen
- **Probelösung:** Probengefäß mit frischer Probenlösung füllen
- **Sensor einbringen:** Sensor in Testlösung eintauchen, bis Messzelle und Entlüftungsöffnungen vollständig bedeckt sind (cf. Abb. 5,7)
- **Gaselimination:** durch sanftes Rühren in der Probelösung alle Luftbläschen bzw. Rest- CO_2 -Bläschen eliminieren, bzw. "aktiv" entfernen (siehe Abb. 6 sowie Hinweis S. 6)

Hinweis: eine CO_2 -haltige Lösung (Gärlösung, Bier) muss unmittelbar vor einer Leitfähigkeitsmessung entgast werden, z.B. durch

mehrfaches Schütteln in einem Gefäß, das leicht verschlossen und wieder geöffnet werden kann (cf. Abb. 6)



- **Messwert erfassen:** entsprechend der Bedienungsanleitung die eLF-Messung durchführen, aber immer beachten: langsam Rühren, dann Sonde absetzen und warten, bis ein stabiler Messwert angezeigt wird
Hinweis: ist eine Temperaturkompensation aktiviert, wird der Leitfähigkeitsmesswert direkt auf die voreingestellte Referenztemperatur korrigiert (meist 25 °C)
- **Protokoll:** Messwert(e) protokollieren
- **Vergleich und Interpretation:**
 - ▶ mit Literaturwerten: cf. Tab. 1

ultrareines Wasser	0.05 - 0.1 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Wasser aus Ionentauscher	bis zu 5 $\mu\text{S}/\text{cm}$
ention. Wasser (je nach Alter)	bis zu 8 $\mu\text{S}/\text{cm}$
dest. Wasser frisch/alt	bis zu 4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ / bis zu 20 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Trink-, Grundwasser	200 - 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Milch, Bier, Wein	1'000 - 5'000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (1-5 mS/cm)
Meerwasser	45'000 - 56'000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (45-56 mS/cm)

Tab. 1. Vergleichswerte zur eLF.

Weitere Werte siehe unter "[Brauwasser](#) > 2.4.2. Was bedeuten die gemessenen Leitfähigkeitswerte?"

- ▶ mit eigenen Messwerten des
 - frischen Brauwassers
 - Maische in verschiedenen Phasen
 - Anstellwürze
 - Gärwürze zu verschiedenen Zeitpunkten
 - Jungbier
 - ausgereiftes trinkfertiges Bier
 - Bier verschiedener Bierstile

→ wichtig ist nicht so sehr der absolute eLF-Wert, sondern die Vergleichswerte, d.h. jede Abweichung davon zeigt eine erwünschte/ unerwünschte Veränderung gegenüber dem Normalverfahren/ Normalablauf an!

z.B. Brauwasser: ist der mittlere "Normalwert" ca. 220 $\mu\text{S}/\text{cm}$, so ist ein gemessener Wert von 290 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ein starker Hinweis auf zusätzliche eher unerwünschte (unbekannte) Stoffe im Wasser
z.B. Anstellwürze: ist der "Normalwert" um 6'000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ und wird dann ein Wert um 5'000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ gemessen, so ist irgendwo in der Kette Brauwasser → Maischephase → Abläutern → Anstellwürze anders als üblich gelaufen (falsche Einwaage beim Einmaischen, Hauptguss-/Nachgussfehler, falsche OG-[Original Gravity, Stammwürze]-Einstellung bzw. Korrektur



Abb. 6. Entgasung vor LF-Messung. CO_2 -haltige Lösungen sollten vor der LF-Messung entgast werden, da CO_2 -Gasblasen auf der Oberfläche der Polelektroden "kleben" und so die Messwerte verfälschen (cf. Tab. 2, CO_2 -begastes Wasser).

Wie entgasen? z.B. Bier - in einer verschließbaren Flasche mehrfach schütteln und dazwischen mehrfach "entlüften".



Blick zu den Polelektroden mit CO_2 -Gasbläschen.



Abb. 7. Leitfähigkeitsmessungen in ention. Wasser und Hefe-Weizenbier.

A: entionisiertes Wasser, nicht ganz frisch: eLF = 8 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

B: Weizenbier, 1:l verdünnt: eLF = 1'214 $\mu\text{S}/\text{cm}$ → eLF unverdünntes Bier ca. 2.5 mS/cm.

2. Messvariante: Leitfähigkeits-TDS-Messgerät

1. Kalibrierung des TDS-Messgerätes: jeweils entsprechendes gerätespezifisches Manual konsultieren!

- das Vorgehen ist wie bei allen Leitfähigkeitsmessgeräten identisch, einzig die Bedienelemente sind z.T. verschieden → daher sich strikte an das jeweilige empfohlene Vorgehen im Manual halten
- Kurzvorgehen beim Gerät "Extech EC210 Leitfähigkeits-Messgerät, TDS Meter": vgl. S. 3 "Beispiel".

2. TDS-Messungen: nur mit kalibriertem Messgerät! Jeweils entsprechendes gerätespezifisches Manual konsultieren!

- Messsonde ist mit dem Messgerät verbunden und mit den Leitfähigkeitseinstellungen kalibriert worden
- Messsonde in die zu überprüfende Lösung eintauchen und Gerät einschalten (Taste "EIN")
- Taste "FUNCTION" drücken bis die ppm-Masseinheit angezeigt wird → oberes Display TDS-Wert in [ppm]
unteres Display Temperatur in [°C]
- Messkopf der Messsonde vollständig in die Probenlösung eintauchen, sanft Rühren und ruhig mit der Hand halten
- Temperaturwerte und TDS-Wert in ppm ablesen
- **Protokoll:** Messwert(e) protokollieren
- **Vergleich und Interpretation:**
 - ▶ vgl. dazu Angaben unter der Leitfähigkeitsmessung S. 4.
 - ▶ einige TDS- $\mu\text{S}/\text{cm}$ -Werte (25 °C):

Probe	TDS [ppm]	eLF [$\mu\text{S}/\text{cm}$]
ention. Wasser frisch	0 ppm	0
ention. Wasser + 1 Salzkorn	6 ppm	9
ention. Wasser CO ₂ -begast	25 ppm	59 → 41 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (beim Stehen lassen, cf. Abb. 6 rechts)
Leitungswasser (min-max-Werte in 1 Woche)	134-161	204-245
Maisbier (Verschiedene Herkunft)	1'288, 1'350	
Hefeweizen	1'230	
Lagerbier	855	

Tab. 2. Vergleichswerte zu TDS und eLF.

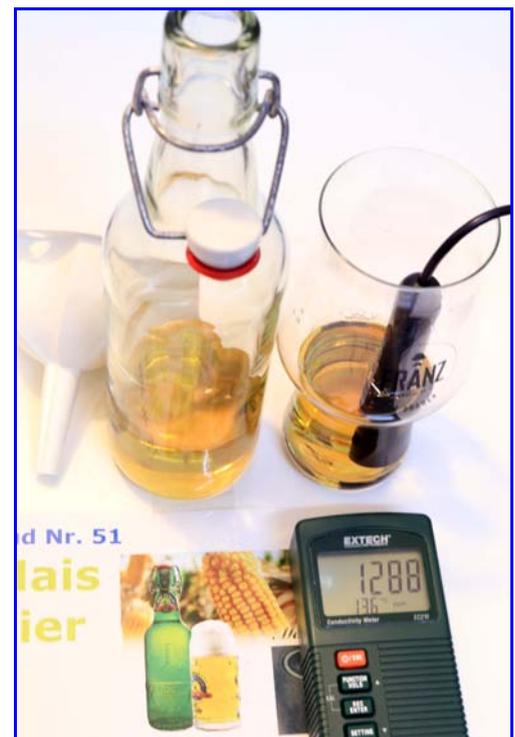


Abb. 8. TDS-Messung im entgasten Bier.
Maisbier, TDS-Wert: 1'288 ppm.

Hinweis:

Da die eLF-Messung relativ empfindlich auf die Temperatur reagiert, empfiehlt es sich immer bei der gleichen Temperatur, z.B. 20 °C oder 25°C zu messen. Um diese gewünschte Temperatur rasch zu erreichen, kann das Probegefäß in ein grösseres wassergefülltes Gefäß gestellt werden. In diesem äusseren Gefäß kann nun direkt über einen Kalt-/Warmwasserhahn die Temperatur rel. rasch und einfach eingestellt werden (Abb. 9).

Aber auch eine verschliessbare Flasche, die gleichzeitig zum Entgasen der Probelösung dient, kann unter den Wasserhahn gehalten und beim Erreichen der gewünschten Messtemperatur wird die Probelösung in ein Messgefäß umgossen (Abb. 10).



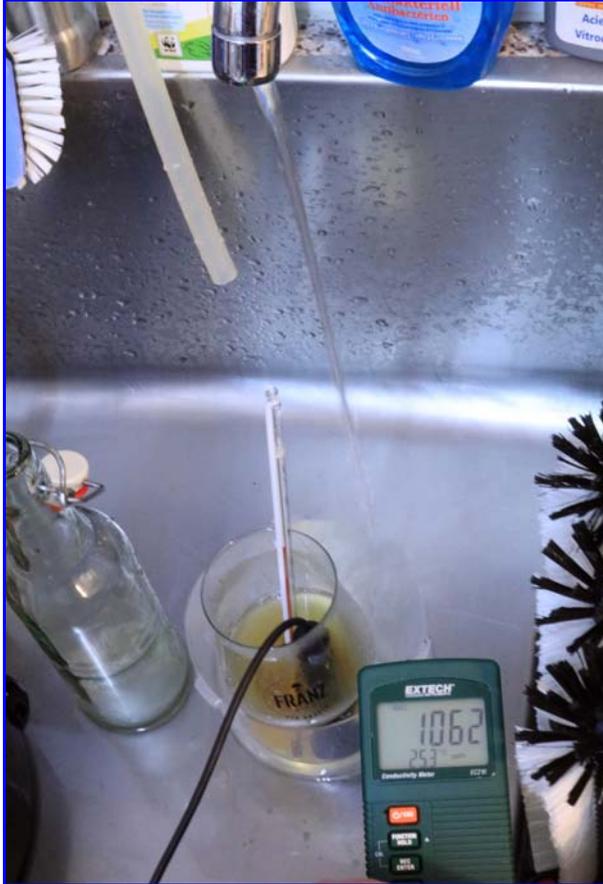


Abb. 9. Temperatureinstellung für die TDS- und eLF-Messungen.

Um möglichst rasch die gewünschte Messtemperatur der Probelösung zu erhalten (meistens 25 °C), kann z.B. ein geeignetes Bierglas mit weitem Fuss in ein grösseres wassergefülltes Gefäss gestellt werden, in das direkt etwas wärmeres Wasser fließt. Mit einem rasch reagierenden Zusatzthermometer wird solange das wärmere Wasser eingelassen, bis die Wunschtemperatur erreicht ist. Dann kann der Messwert mit der bereits eingeführten Sonde am LF-Messgerät direkt abgelesen werden.



Abb. 10. Entgasen und Temperatureinstellung mit einer verschliessbaren Flasche. Die gashaltige Probelösung, z.B. Bier mit CO₂ wird geschüttelt und gleichzeitig unter dem warmen Wasser hin- und hergezogen. Mit einem Thermometer Temperatur messen und bei der Wunschtemperatur die TDS-/eLF-Messung in einem separaten Gefäss durchführen.